

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560608

研究課題名（和文） 壁装におけるカビの生育特性に関する研究

研究課題名（英文） A Study on the growth characteristic of the mould in hygrothermal materials

研究代表者

柳 宇（YANAGI U）

工学院大学・建築学部・教授

研究者番号：50370945

要旨

住宅内カビ汚染の対策，とりわけ，湿度対策の一つとして調湿材が用いられるケースは多く見られる。しかしながら，空中ではなく，基材で増殖するというカビの生態を勘案すれば調湿材を使用することによって，カビの増殖と直接関係しない室内居住域の空中水分をカビの増殖可能な基材となる壁装材に取り込むことになり，カビの増殖を助長させる結果をもたらす可能性があると考えられる。本研究では，調湿剤を施した実際環境の実態調査を行ったほか，諸湿度環境条件における吸湿材表面でのカビ増殖特性について定量的な検討を行った。実態調査の結果より，高湿環境中での調湿材の使用は，その表面での高湿性カビ *Acremonium* sp. の増殖を助長することが明らかになった。また，実験的な検討においては，本研究で提案したカビ増殖指数（MGI）が，カビの成長曲線に対応した定量的な指標であることが明らかになった。

Abstract

Hygrothermal materials, interior wall components with humidity controlling properties, are increasingly being used for building construction in Japan. Although there are reports on the performance of these items, little information is available on potential contamination caused by microbial growth on hygrothermal materials. In this study, we conducted field measurements in environment by using hygrothermal materials, and examined the growth characteristics of mould present on the surface of hygrothermal material under conditions of moisture exposure. Due to the field measurement results, it is clear that hygrothermal materials made multiplication of mould promote. Furthermore, experimental studies confirm the utility of using the proposed MGI to evaluate mould growth under defined conditions on different substrates.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	900,000	0	900,000
2010 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,500,000	780,000	4,280,000

研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：建材，壁装，調湿材，カビ，カビ増殖指数，MVOC

1. 研究開始当初の背景

近年、日本では「シックハウス」,「シックハウス症候群」と呼ばれる室内空気汚染とそれに起因する居住者の健康障害問題に社会的注目が集まっている。シックハウスの問題が最初にクローズアップされたのは約 10 年前であった。その後、国、学会、多くの関係者がそれぞれの立場から、また横断的な連携を取りながらこの問題に精力的に取り組み、解決に向かっての努力がなされて来ている。その成果の一つは厚生労働省が揮発性有機化合物に関する室内環境指針値を制定し、それを受けて 2002 年にシックハウス対策のための建築基準法の改正（2003 年 7 月施行）が行われたことである。

しかし、建築基準法改正後においては、東京都のシックハウスに関する相談の件数が減ることなく、増加しつつ傾向にある。それは、シックハウス問題において VOCs だけでなく、カビのような微生物なども大きな要素になっているためと考えられる。

住宅内カビ汚染の対策、とりわけ、湿度対策の一つとして調湿材を用いるケースは多く見られる。しかしながら、空中ではなく基材で増殖するカビの生態を勘案すれば、上記の調湿材を使用することによって、カビの増殖に直接関係しない室内居住域の空中水分をカビの増殖可能な基材となる壁材に取り込むことになり、カビの増殖を助長させる結果をもたらす可能性があると考えられる。従って、近年建築環境中での採用例が増えている調湿材におけるカビ増殖の影響を解明する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、壁装材におけるカビの生育特性を明らかにするとともに、その生育特性を定量的に評する方法を提案したうえで、壁装材におけるカビ汚染対策のための基礎資料を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

3.1 実態調査

実環境における吸放湿材表面でのカビ汚染の実態を明らかにするために、北九州にある某大学の事務所兼研究施設にて、外気導入ダクト兼用の地下ピット（全長約 100m）を対象に詳細な測定を行った。対象施設の地下ピットを介してして室内に外気を導入するのは、躯体蓄熱を利用した省エネ手法である。また、その地下ピット内にはセラミックス製の調湿材が施されている。

測定項目は地下ピット内の温湿度と微生物であった。2010 年 7 月 16 日～9 月 28 日の間、地下ピット内の温湿度を 5 分間隔で連続測定した。また、7 月 16 日の温湿度計設置時と 9 月 28 日の回収時において、外気中の

浮遊細菌・真菌・VOCs、地下ピット内の浮遊細菌・真菌・VOCs と調湿材表面の付着細菌・真菌、居室の給気中と室内の浮遊細菌・真菌・VOCs の測定を行った。

浮遊微生物のサンプリングにはバイオサンプラ（ミドリ安全製）を用いた。細菌の測定には SCD 培地、真菌の測定には PDA と DG18 培地を用いた。培養条件については、SCD 培地は 32 で 2 日間、PDA 培地と DG18 培地は 25 で 7 日間とした。

ピット内壁表面、調湿材表面に付着している真菌・細菌は拭き取り検査キット（Pro media ST-25 ELMEX 製）を用いて採取した。持ち帰った試料をスパイラルプレーダー（EDDY JET IUL 製）を用いて SCD 培地、PDA 培地、DG18 培地に菌を植え付け、浮遊真菌・細菌の培地と同様にインキュベータ内で培養した。

VOCs のサンプリングには DNPH カートリッジと Tenax 捕集剤を用いて、GC/MS 及び HPLC を用いて測定した。

3.2 実験

3.2.1 供試菌

本研究では、吸湿状態でのカビの増殖特性を明らかにすることを目的としており、以下に示す 4 種類の中湿性から好湿性カビを供試菌とした。この 4 種類のカビの内ケタマカビは木材や紙、土壌で多く検出され、その他の 3 種類のカビは一般室内環境で検出される頻度の約 80% を占めると報告されている一般環境中の優先種である。

Cladosporium cladosporioides (クロカビ), NBRC6348

Penicillium pinophilum (アオカビ), NBRC6345

Aspergillus niger (コウジカビ), NBRC6341

Chaetomium globosum (ケタマカビ), NBRC6347

3.2.2 供試材

供試材には調湿性能を有する杉板（無垢材）及び、調湿建材（エコカラット INAX）を用いた。本研究では、吸湿のみ状態（以降吸湿実験と呼ぶ）と、吸放湿過程を繰り返す状態（以降吸放湿実験と呼ぶ）の 2 種類の実験を行った。吸湿実験においては、杉板を 150 × 150 × 10mm に加工したものを MVOC（Microbial Volatile Organic Compounds 微生物由来揮発性有機化合物）測定用に使用した。また、その杉板を更に 75 × 75 × 10mm に加工したものをカビの増殖に伴う菌系の長さ・色・面積変化の測定に使用した。一方、吸放湿実験においては、杉板を 75 × 75 × 10mm に加工したものと 37.5 × 75 × 10mm に加工したもの二つ及び、調湿建材を

75×75×10mm に加工したもの一つ、37.5×75×10mm に加工したもの一つをカビの増殖に伴う菌糸長・色・面積の変化の測定に使用した。

3.2.3 実験方法

(1) 吸湿実験

吸湿実験では調湿建材の吸湿状態を想定して温度 25℃、湿度 90% に設定された恒温恒湿チャンパー内で養生した。クロカビ、アオカビ、クロコウジカビ、ケタマカビのそれぞれに対して、色・カビコロニー面積測定用の供試材（供試材 1）、菌糸長測定用の供試材（供試材 2）、MVOC 測定用の供試材（供試材 3）として計 3 枚ずつを使用した。供試材 1 には全面にサブロ液体培地 500 μ l を浸み込ませた後、調整した菌液 300 μ l を塗布した。供試材 2 には中央にサブロ液体培地 500 μ l、菌液 100 μ l と、木口に培地 300 μ l を浸み込ませた後、菌液 180 μ l を塗布した。供試材 3 には全面に液体培地 2000 μ l を浸み込ませた後、菌液 1200 μ l を塗布した。これらの 12 枚の供試材及び、含水率測定用の供試材 2 枚を恒温恒湿チャンパー内で養生した。なお、試験に使用したカビの菌液濃度は下記に示すとおりに調整した。

クロカビ	7.2×10 ² cfu/ml
アオカビ	1.1×10 ³ cfu/ml
コウジカビ	8.8×10 ² cfu/ml
ケタマカ	4.0×10 ¹ cfu/ml

(2) 吸放湿実験

吸放湿実験では調湿建材の吸湿状態と放湿状態の両方を想定して温度 25℃、湿度 40～90% の 24 時間周期変動に設定された恒温恒湿チャンパー内で養生した。クロカビ、アオカビ、クロコウジカビ、ケタマカビのそれぞれに対して、色・カビコロニー面積測定用の杉板（供試材 1）、板目における菌糸長測定用の杉板（供試材 2）、木口における菌糸長測定用の杉板（供試材 3）、さらに色・カビコロニー面積測定用のエコカラット（供試材 4）、表面における菌糸長測定用のエコカラット（供試材 5）として計 5 枚ずつの供試材を使用した。

供試材 1 と 4 には全面にサブロ液体培地 500 μ l を浸み込ませた後、菌液 300 μ l を塗布した。供試材 2 と 5 にはサブロ液体培地 250 μ l を浸み込ませた後、菌液 150 μ l を塗布した。供試材 3 には木口に培地 300 μ l を浸み込ませた後、菌液 180 μ l を塗布した。なお、供試材 2 と供試材 3 については、観察面の周りをアルミテープで覆って養生した。これらの 20 枚の供試材及び、含水率測定用の杉板と調湿建材計 3 枚を気流のある恒温恒湿チャンパー内で養生した。使用したカビの菌液濃度は次に示す通りである。

クロカビ	3.6×10 ² cfu/ml
アオカビ	3.0×10 ² cfu/ml
コウジカビ	5.8×10 ² cfu/ml
ケタマカビ	4.0×10 ¹ cfu/ml

また、各供試材に菌液を塗布する前に、前もって霧吹きで 5 日間ごとに 3 度蒸留水を吹きかけ、含水率が 20% を超えるように調整した。なお、含水率測定用として、吸湿実験では木材 150×75×10mm（大）と 75×75×10mm（小）の供試材、吸放湿実験では木材 150×75×10mm（大）と 75×75×10mm（小）及び、エコカラット 75×75×10mm の供試材を使用した。各供試材に菌液とサブロ液体培地を塗布した際に、含水率測定用の供試材にも同量の蒸留水を大には計 1600 μ l、小には計 800 μ l を塗布した。

4. 研究成果

4.1 実態調査

図 1 に 7 月 16 日から 9 月 28 日までの期間における地下ピット内温湿度、図 2 に相対湿度の累積頻度を示す。ピット内の湿度が高く、結露しやすい環境にあることが分かった。また、相対湿度がカビ増殖の危険湿度とされている 70%¹⁾ を上回る期間が全体の 90% を占めていることから、地下ピット内は

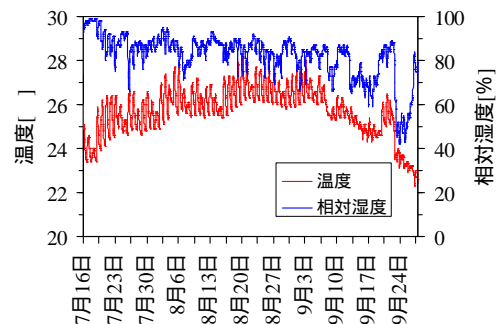


図 1 ピット内温湿度の経時変化

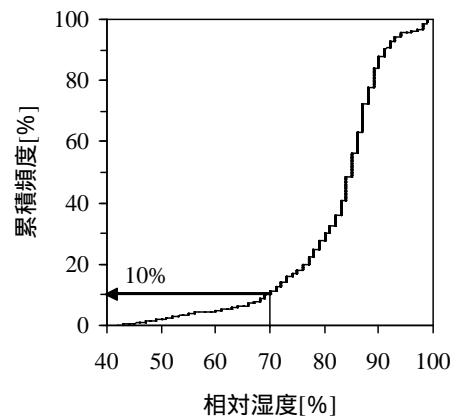


図 2 ピット内相対湿度の累積頻度分布

カビの増殖にとって好環境になっていることが明らかになった。

地下ピット内の調湿材の表面を測定したところ、好湿性カビ *Acremonium* sp. のみが検出された一方、ピット内のコンクリート壁面からは *Acremonium* sp. が僅かしか検出されなかったことから、調湿建材表面が好湿性カビの生育にとって好環境になっていることが明らかになった。また、ピット内と、事務室の給気中と室内から *Acremonium* sp. が高濃度（それぞれ 310cfu/m³, 90 cfu/m³）で検出されたことから、ピット内で増殖した *Acremonium* sp. が室内に侵入したことが明らかになった。なお、*Acremonium* sp. は水環境汚染や食品汚染・腐敗、植物病原性、日和見病原性などの有害性がある。

写真 1, 2 に *Acremonium* sp. を PDA 培地にて巨大培養とスライド培養した画像を示す。*Acremonium* sp. から発生する MVOC について測定を行った。結果を図 3 に示す。Acetaldehyde, Acetone, 1-Butanol が成長と共に発生するのが確認され、成長が止まった 7 日目には、発生が確認されなくなった。

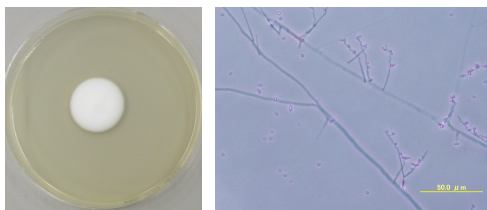


写真 1

写真 2

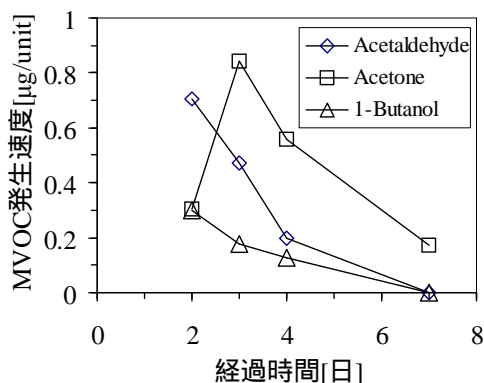


図 3 MVOC の経過日数と発生量の関係

TVOC 発生量はピット内空気において最も高い数値を示した。MVOC から発生した上記の 3 物質については、ピット内及び室内空気からも検出されたが、他の発生源も考えられるため *Acremonium* sp. によるのはのかは不明であるが、VOC についてもピット内に影響を及ぼしていることが示唆された。

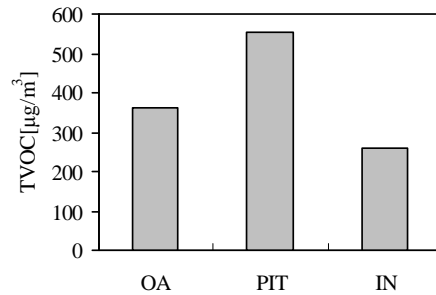


図 4 外気・ピット内・室内の TVOC 濃度

4.2 実験

4.2.1 吸湿実験

供試材 1 では 8 日後に 4 種類のカビ全てにおいて実体顕微鏡にて胞子の確認ができた。肉眼での観察では 10 日後に 4 種類のカビが確認できた。カビの面積について、ケタマカビ、アオカビは 16 日後には供試材の 50% 程度、23 日後にはほぼ全面にカビが発生していた。コウジカビ、クロカビは 20 日後に 50% 程度、27 日後にはほぼ全面にカビが発生していた。どのカビも木口など周りから発生が確認され、徐々に中心でもカビの発生が確認されるようになった。

供試材 2 では、6 日後に実体顕微鏡で木口にてケタマカビ、コウジカビ、アオカビの菌糸を確認できた。また、8 日後には実体顕微鏡で木口にて 4 種類のカビ全ての胞子が確認できた。クロカビとコウジカビのみ表面（木口付近）にも胞子が確認できた。10 日後にはアオカビとケタマカビも表面（木口付近）に胞子が確認できた。肉眼での観察では、菌糸は確認できなかったが、胞子は供試材 1 同様 10 日後に 4 種類のカビで確認できた。

供試材 2 において、中央に菌液を塗布したが、中央にはカビが生えずに周りから増殖していることが気になる点である。中央についてはケタマカビが 23 日後、アオカビ、クロカビは 27 日後に確認された。コウジカビは中央で確認されなかった。

4.2.2 吸放湿実験

吸放湿実験ではどの供試材もカビの増殖が大きくは見られなかったため、デジタルカメラによる観察はできなかった。

供試材 2 では、41 日後に実体顕微鏡でケタマカビの胞子が確認できた。

供試材 3 では、16 日後に実体顕微鏡でクロカビ、アオカビの胞子、41 日後にコウジカビの胞子が確認できた。

また、色・カビコロニー面積測定用の杉板（供試材 1）、色・カビコロニー面積測定用のエコラット（供試材 4）、表面における菌糸長測定用のエコラット（供試材 5）においては全てのカビの増殖が確認できなかった。

板目における菌糸長測定用の杉板(供試材 2)ではクロカビ,アオカビ,コウジカビ,木口における菌糸長測定用の杉板(供試材 3)ではケタマカビの増殖が確認できなかった。

4.2.3 カビ増殖特性の評価

カビの増殖の特徴は細菌などと異なり,胞子から発芽し,その菌糸を延ばすことで,菌糸の先から若い胞子をつくり出して生育・増殖を成し遂げることである²⁾。JIS Z 9116 に規定されているカビ指数ではカピコロニーの面積を重視して半定量的評価を行っているが,前述した通り,実際にはカビは菌糸から胞子へと増殖するという特徴を持つため,JIS Z 2911 の方法ではカビの増殖特性を定量的に評価できない。そこで,本実験ではカビの増殖特性を把握するために木口に着目し,表 1 に示す 7 段階のカビ増殖指数(MGI: mould growth index)を考案し定量的な評価を試みた。MGI の例として吸湿実験における供試材 2 のアオカビ増殖状態を写真 3 に示す。

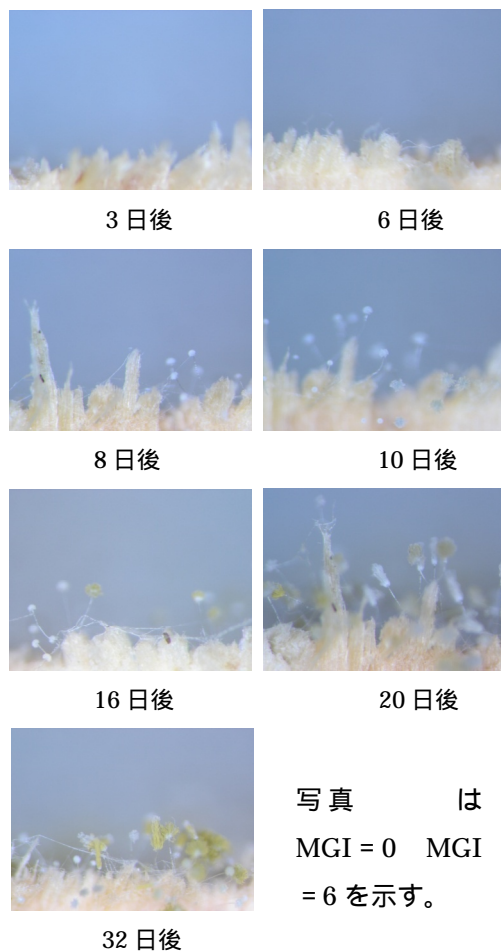


写真 3 吸湿実験における木材木口でのアオカビ増殖状態

表 1 カビ増殖指数の定義

カビの生育	MGI
顕微鏡下でのかびの菌糸が確認できない。	0
顕微鏡にて菌糸が確認できる。	1
顕微鏡にて胞子が確認できる。	2
顕微鏡にて胞子の増殖が確認できる。	3
顕微鏡にて胞子の色付きが確認できる。	4
顕微鏡にて色付きのある胞子の増殖が確認できる。	5
顕微鏡にて色付きのある胞子が大きくなっていることが確認できる。	6

図 5, 6 に吸湿実験と吸放湿実験でのカビの MGI を用いた結果を示す。本論文で提案した MGI を用いることによって,カビの特性を評価できることが明らかになった。

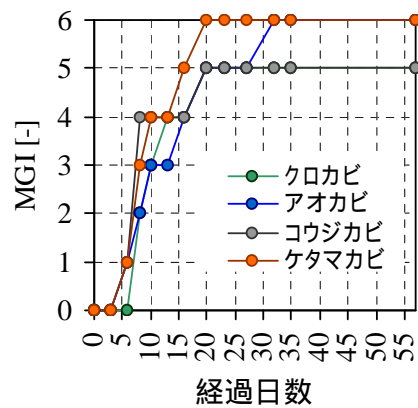


図 5 吸湿実験で供試材 2 の木口に着目したカビ増殖指数

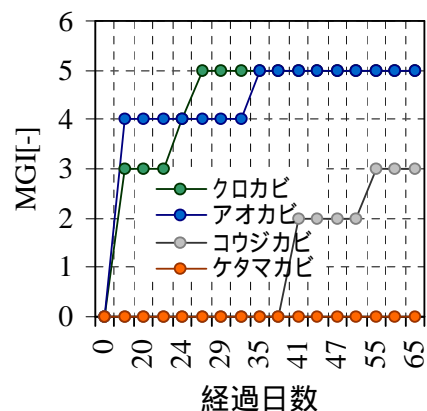


図 6 吸放湿実験での供試材 3 の木口に着目したカビ増殖指数

4.3 考察

吸放湿建材は湿度が変動する環境に使用されるものであり、高湿環境では吸湿を行い室内のカビ汚染を抑制するとされているが、カビの増殖は空中ではなく基材の表面で行われるため、実態調査結果より高湿な環境での使用は高湿性カビの増殖を助長させることが認められた。したがって、吸湿材の適正な使用方法について更なる検討を行う必要があると考えられる。

吸放湿実験の結果では板目における菌糸長測定用の杉板(供試材2)からケタマカビ、木口における菌糸長測定用の杉板(供試材3)からクロカビ、アオカビ、コウジカビが確認されたのみで、他の供試材からはカビの増殖が確認されなかった。このことについては、吸放湿実験で使用した木材は心材部が多く、心材部の細胞は半枯死状態であり辺材部よりも含水率が低く、カビの成長を妨げる性質があることから増殖が確認されなかったと考えられる。また、吸湿実験での板目中央、吸放湿実験での板目からカビの増殖があまり見られなかったことから、木材でのカビの増殖は木口から始まり中央へと向かって増殖すると考えられる。

吸湿実験及び吸放湿実験の結果を比較した際、吸湿実験よりも吸放湿実験の方がカビの増殖速度が遅いのは、放湿期間中は増殖が抑制されたためと考えられる。

また、実験的な研究により本研究で提案したカビ増殖指数 MGI は微生物の増殖曲線と一致していることが明らかになり、MGI はカビの生育特性を反映した有効な評価指標であると考えられる。

4.4 結論

本研究では調湿建材におけるカビの増殖特性の評価方法についての検討を行った実験の結果より、以下の知見が得られた。

(1) 実環境での調湿材の表面において *Acremonium* sp. の増殖が確認されたことから、好湿性カビの生育にとって好環境になっていることが明らかになった。さらに、調湿材の表面において増殖した *Acremonium* sp. が給気と室内空気中から高濃度で検出されたことから、ピット内の調湿材で増殖したカビが室内に侵入したことが明らかになった。

(2) 湿度 90% の恒温恒湿チャンパー内では、木材の表面でのクロカビ、アオカビ、コウジカビ、ケタマカビの増殖が確認された。

(3) 湿度 40~90% の 24 時間周期で変動する恒温恒湿チャンパー内では、木材の板目観察用からケタマカビ、木口観察用からクロカビ、アオカビ、コウジカビの増殖が確認された。

(4) 湿度 40~90% の 24 時間周期で変動する恒温恒湿チャンパー内では、エコラットの表面でのクロカビ、アオカビ、コウジカビ、

ケタマカビの増殖が確認されなかった。

(5) 本研究で提案した 7 段階のカビ増殖指数(MGI)は、カビの生育特性を反映した定量評価指標であることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 5 件)

(1) 柳 宇, 鍵直樹, 大澤元毅, 調湿建材におけるカビと MVOC の発生特性に関する基礎研究, 日本防菌防黴学会第 37 年次大会, 2010 年

(2) 柳 宇, 鍵直樹, 大澤元毅, 工藤裕太, 松鷯悟実, 石松維世, 龍有二: 建築一体化空調における微生物汚染の実態解明に関する研究 - 第 1 報, 日本防菌防黴学会第 38 回年次大会要旨集, p.53, 2011

(3) 工藤裕太, 柳 宇, 鍵直樹, 大澤元毅, 長谷川麻子, 松鷯悟実, 石松維世, 龍有二: 地中熱利用ピットにおける調湿材での微生物汚染の実態調査, 2011 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 665-666, 2011

(4) 工藤裕太, 柳 宇, 鍵直樹, 大澤元毅, 長谷川麻子: 木材表面でのカビ増殖に関する研究における増殖指数の提案, 2012 年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012

(5) 五里守太樹, 柳 宇, 鍵直樹, 大澤元毅, 長谷川麻子, 工藤裕太: 建材表面におけるカビ増殖指数の提案, 日本防菌防黴学会第 39 回年次大会要旨集, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳 宇 (YANAGI U)

工学院大学・建築学部・建築学科・教授
研究者番号: 50370945

(2) 研究分担者

大澤元毅 (Osawa HARUKI)

国立保健医療科学院・統括研究官
研究者番号: 20356009

(3) 研究分担者

鍵直樹 (KAGAI NAOKI)

国立保健医療科学院・生活環境研究部・
上席主任研究官
研究者番号: 20345383

参考文献

(1) 柳 宇, 池田耕一: 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究 - 第 1 報 微生物の生育環境と汚染実態. 日本建築学会計画系論文集, No.593, pp49-56, 2005 年

(2) 柳 宇: シックハウス診断士受験テキスト(上). オーム社出版, pp53-98, 2005 年